

А. П. Карманов, И. Н. Полина

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД



«Инфра-Инженерия»

УДК 628.31
ББК Н761.204.4
К 24

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---

Рецензент:

Л. И. Соколов, доктор технических наук,
профессор кафедры водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО ВоГУ.

К 24 Технология очистки сточных вод: Учебное пособие. / сост. А. П. Карманов, И. Н. Полина. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 212 с.

ISBN 978-5-9729-0238-5

Рассмотрены виды, состав и особенности сточных вод из различных источников. Подробно описаны механический, физико-химический, электрохимический, термический и биологический методы обезвреживания и утилизации осадка. Приведены схемы и принципы работы соответствующего оборудования. Предложены рекомендации относительно выбора оптимального способа и степени очистки сточных вод.

Для студентов природоохранных специальностей всех форм обучения и специалистов по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов.

© Карманов А. П., Полина И. Н., авторы, 2018
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2018

ISBN 978-5-9729-0238-5

Содержание

Введение	6
1. СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД.....	7
1.1. Формирование состава сточных вод	7
1.2. Санитарно-химические показатели сточных вод	9
1.4. Определение необходимой степени очистки сточных вод.....	14
Контрольные вопросы.....	17
2. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	18
2.1. Разработка и обоснование технологических схем очистки сточных вод.....	20
2.2. Технологические схемы очистки сточных вод	20
Контрольные вопросы.....	24
3. МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ	25
3.1. Способы и сооружения механической очистки сточных вод.....	26
3.1.1. Решетки	27
3.1.2. Решетки-дробилки	29
3.1.3. Песколовки	30
3.1.4. Отстойники.....	34
3.1.5. Усреднители	42
3.1.6. Нефтеловушки, продуктоловушки.....	46
3.1.7. Фильтры.....	50
3.1.8. Гидроциклоны и центрифуги	57
3.1.9. Комбинированные сооружения	62
Контрольные вопросы.....	65
4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....	66
4.1. Коагуляция и флокуляция	66
4.1.1. Физико-химические основы процессов	66
4.1.2. Сооружения коагуляции и флокуляции	68
4.2. Флотация	70
4.2.1. Физико-химические основы и способы флотации	71
4.2.2. Флотационные установки	72
4.3. Адсорбция	81
4.3.1. Физико-химические основы процесса.....	81
4.3.2. Статическая адсорбция	83
4.3.3. Динамическая адсорбция.....	84
4.3.4. Адсорбционные аппараты и схемы адсорбционных установок.....	85
4.3.5. Методы регенерации адсорбентов.....	87
4.4. Ионный обмен	88

4.4.1. Физико-химические основы процесса.....	89
4.4.2. Установки ионного обмена.....	91
4.5. Экстракция.....	93
4.5.1. Физико-химические основы процесса.....	93
4.5.2. Методы экстрагирования.....	94
4.5.3. Технологические схемы и аппаратура для процессов экстракции.....	95
4.6. Мембранные методы.....	98
4.6.1. Физико-химические основы процессов.....	98
4.6.2. Влияние внешних факторов на процессы мембранного разделения.....	100
4.6.3. Аппаратура для обратного осмоса и ультрафильтрации, схемы установок.....	102
4.7. Перегонка и ректификация.....	105
4.7.1. Перегонка.....	105
4.7.2. Ректификация и эвапорация.....	107
4.8. Кристаллизация.....	109
4.8.1. Физико-химические основы процесса.....	109
4.8.2. Способы кристаллизации и применяемая аппаратура.....	110
Контрольные вопросы.....	112
5. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ.....	114
5.1. Физико-химические основы методов.....	114
5.2. Электрокоагуляция и электрофлотация.....	116
5.3. Электрохимическое окисление и восстановление.....	118
5.4. Электролиз.....	119
Контрольные вопросы.....	121
6. ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ.....	122
6.1. Концентрирование минерализованных сточных вод.....	122
6.2. Термоокислительные методы обезвреживания жидких отходов.....	125
Контрольные вопросы.....	128
7. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ.....	129
7.1. Общие положения.....	129
7.1.1. Основные показатели.....	133
7.1.2. Состав активного ила и биопленки.....	134
7.1.3. Закономерности распада органических веществ.....	136
7.1.4. Зависимость скорости биологической очистки от различных факторов.....	138
7.1.5. Биохимический показатель.....	139
7.2. Сооружения и аппараты для биологической очистки сточных вод в искусственных условиях.....	140
7.2.1. Аэротенки.....	141

7.2.2. Биофильтры	152
Контрольные вопросы.....	160
8. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД.....	161
8.1. Хлорирование воды гипохлоритом натрия	161
8.2. Озонирование	164
8.3. Ультрафиолетовое облучение.....	166
Контрольные вопросы.....	167
9. ОБРАБОТКА, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД.....	168
9.1. Состав и свойства осадков сточных вод.....	168
9.2. Уплотнение илов и осадков сточных вод	175
9.3. Стабилизация осадков сточных вод и активного ила в анаэробных и аэробных условиях.....	176
9.3.1. Сооружения для стабилизации осадка в анаэробных условиях.....	177
9.3.2. Аэробные стабилизаторы	180
9.4. Обезвоживание осадков сточных вод	182
9.4.1. Обезвоживание осадков на иловых площадках.....	182
9.4.2. Обеззараживание осадков сточных вод	193
9.5. Термическая сушка осадков сточных вод	197
9.6. Сжигание осадков сточных вод.....	201
9.7. Утилизация осадков городских сточных вод.....	204
Контрольные вопросы.....	205
Заключение.....	207
Основные термины и определения.....	208
Библиографический список.....	210

ВВЕДЕНИЕ

Вода, у тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха. Тебя невозможно описать, тобой наслаждаются, не ведая, что ты такое! Нельзя сказать, что ты необходима для жизни: ты — сама жизнь. Ты самое большое богатство на свете.

Антуан де Сент-Экзюпери

Во все времена люди селились сами и размещали промышленные объекты в непосредственной близости от пресных водоемов, используемых для питьевых, гигиенических, сельскохозяйственных и производственных целей. В процессе использования воды человеком она изменяла свои природные свойства и в ряде случаев становилась опасной в санитарном отношении. Впоследствии с развитием инженерного оборудования городов и промышленных объектов возникла необходимость в устройстве организованных способов отведения загрязненных отработавших потоков воды по специальным гидротехническим сооружениям. В настоящее время значение пресной воды как природного сырья постоянно возрастает. При использовании в быту и промышленности вода загрязняется веществами минерального и органического происхождения. Таковую воду принято называть сточной водой [5]. Многие современные технологические процессы связаны со сбросом сточных вод в водные объекты. Бурное развитие промышленности вызывает необходимость предотвращения отрицательного воздействия производственных сточных вод на водоемы. В связи с чрезвычайным разнообразием состава, свойств и расходов сточных вод промышленных предприятий необходимо применение специфических методов и особых сооружений по их локальной, предварительной и полной очистке. В составе инженерных коммуникаций каждого промышленного предприятия имеется комплекс канализационных сетей и сооружений, с помощью которых осуществляется отведение отработанных вод, дальнейшее использование которых либо невозможно по техническим условиям, либо нецелесообразно с учетом технико-экономических показателей. Кроме того, предусмотрены сооружения по предварительной обработке сточных вод и извлечению из них ценных веществ и примесей [2].

Данное учебное пособие призвано стать основой для понимания основных технологических способов очистки сточных вод от различных загрязнений — как промышленных, так и бытовых.

1. СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД

1.1. Формирование состава сточных вод

Сточные воды — это воды, бывшие в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшие через какую-либо загрязненную территорию.

Сточные воды разнообразны по составу и, следовательно, по свойствам. По своей природе загрязнения сточных вод подразделяются на:

- Органические;
- Минеральные;
- Биологические.

Органические загрязнения — это примеси растительного и животного происхождения.

Минеральные загрязнения — это кварцевый песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли, минеральные масла и т. д.

Биологические и бактериальные загрязнения — это различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные — возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др.

Все примеси сточных вод независимо от их происхождения разделяют на четыре группы в соответствии с размером частиц.

К **первой группе** примесей относят нерастворимые в воде *грубодисперсные примеси*. Нерастворимыми могут быть примеси органической или неорганической природы. К этой группе относят микроорганизмы (простейшие, водоросли, грибы), бактерии и яйца гельминтов. Эти примеси образуют с водой неустойчивые системы. При определенных условиях они могут выпадать в осадок или всплывать на поверхность воды. Значительная часть загрязнений этой группы может быть выделена из воды в результате гравитационного осаждения.

Вторую группу примесей составляют *вещества коллоидной степени дисперсности* с размером частиц менее 10^{-6} см. Гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси этой группы образуют с водой системы с особыми молекулярно-кинетическими свойствами. К этой группе относятся и высокомолекулярные соединения, так как их свойства сходны с коллоидными системами. В зависимости от физических условий примеси этой группы способны изменять свое агрегатное состояние. Малый размер их частиц затрудняет осаждение под действием сил тяжести. При разрушении агрегативной устойчивости примеси выпадают в осадок.

К **третьей группе** относят примеси с размером частиц менее 10^{-7} см. Они имеют *молекулярную степень дисперсности*. При их взаимодействии с водой образуются растворы. Для очистки сточных вод от примесей третьей группы применяют биологические и физико-химические методы.

Примеси **четвертой группы** имеют размер частиц менее 10^{-8} см, что соответствует *ионной степени дисперсности*. Это растворы кислот, солей и оснований. Некоторые из них, в частности аммонийные соли и фосфаты, частично удаляются из воды в процессе биологической очистки. Однако технология очистки бытовых сточных вод (полная биологическая очистка) не позволяет изменить солесодержание воды. Для снижения концентрации солей используют физико-химические методы очистки: ионный обмен, электродиализ и т. д.

Различают три основные категории сточных вод в зависимости от их происхождения:

- хозяйственно-бытовые;
- производственные;
- атмосферные.

Хозяйственно-бытовые сточные воды поступают в водоотводящую сеть от жилых домов, бытовых помещений промышленных предприятий, комбинатов общественного питания и лечебных учреждений. В составе таких вод различают фекальные сточные воды и хозяйственные, загрязненные разными хозяйственными отбросами, моющими средствами. Хозяйственно-бытовые сточные воды всегда содержат большое количество микроорганизмов, которые являются продуктами жизнедеятельности человека, среди которых могут быть и патогенные. Особенностью хозяйственно-бытовых сточных вод является относительное постоянство их состава. Основная часть органических загрязнений таких вод представлена белками, жирами, углеводами и продуктами их разложения. Неорганические примеси составляют частицы кварцевого песка, глины, соли, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека. К последним относят фосфаты, гидрокарбонаты, аммонийные соли (продукт гидролиза мочевины). Из общей массы загрязнений бытовых сточных вод на долю органических веществ приходится 45–58 %.

Производственные сточные воды образуются в результате технологических процессов. Качество сточных вод и концентрация загрязняющих веществ определяются видом промышленного производства и исходного сырья, режимами технологических процессов. Например, на металлообрабатывающих предприятиях производственные сточные воды загрязнены минеральными веществами. Пищевая промышленность дает загрязнения органическими примесями. Большинство предприятий имеют загрязнения сточных вод как минеральные, так и органические, в различных соотношениях. Концентрация загрязнений сточных вод различных предприятий неодинакова. Она колеблется в весьма широких пределах в зависимости от расхода воды на единицу продукции, совершенства технологического процесса и производственного оборудования. Концентрация загрязнений в производственных сточных водах может сильно колебаться во времени и зависит от хода технологического процесса в отдельных цехах или на предприятии в целом. Неравномерность притока сточных вод и их концентрации во всех случаях ухудшает работу очистных сооружений и усложняет эксплуатацию.

Атмосферные сточные воды образуются в результате выпадения осадков. К этой категории сточных вод относят талые воды, а также воды от поливки улиц. В атмосферных водах наблюдается высокая концентрация кварцевого песка, глинистых частиц, мусора и нефтепродуктов, смываемых с улиц города. Загрязнение территории промышленных предприятий приводит к появлению в ливневых водах примесей, характерных для данного производства. Отличительной особенностью ливневого стока является его эпизодичность и резко выраженная неравномерность по расходу и концентрациям загрязнений.

В зависимости от гидрогеологических условий местности, характера производственных процессов в данном регионе, расхода воды на хозяйственно-бытовые и производственные цели выбирается та или иная система водоотведения и, соответственно, схема водоотводящей сети. Загрязнения хозяйственно-бытовых и производственных стоков влияют на технологию очистки воды и на экологическую ситуацию в районе [1, 2, 3].

1.2. Санитарно-химические показатели сточных вод

Состав сточных вод и их свойства оценивают по результатам санитарно-химического анализа, включающего наряду со стандартными химическими тестами ряд физических, физико-химических и санитарно-бактериологических определений.

Сложность состава сточных вод и невозможность определения каждого из загрязняющих веществ приводят к необходимости выбора таких показателей, которые характеризовали бы определенные свойства воды без идентификации отдельных веществ.

Полный санитарно-химический анализ предполагает определение следующих показателей:

- температура;
- окраска;
- запах;
- прозрачность;
- величина pH;
- сухой остаток;
- плотный остаток и потери при прокаливании;
- взвешенные вещества;
- оседающие вещества по объему и по массе;
- перманганатная окисляемость;
- химическая потребность в кислороде (ХПК);
- биохимическая потребность в кислороде (БПК);
- азот (общий; аммонийный; нитритный; нитратный);
- фосфаты;
- хлориды;
- сульфаты;

- тяжелые металлы и другие токсичные элементы;
- поверхностно-активные вещества (ПАВ);
- нефтепродукты;
- растворенный кислород;
- микробное число;
- бактерии группы кишечной палочки (БГКП);
- яйца гельминтов.

В число обязательных тестов полного санитарно-химического анализа на городских очистных станциях может быть включено определение специфических примесей, поступающих в водоотводящую сеть населенных пунктов от промышленных предприятий.

Температура — один из важных технологических показателей. Функцией температуры является вязкость жидкости и, следовательно, сила сопротивления оседающим частицам. Важнейшее значение имеет температура для биологических процессов очистки, так как от нее зависят скорости биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

Окраска — один из органолептических показателей качества сточных вод. Хозяйственно-фекальные сточные воды обычно слабо окрашены и имеют желтовато-буроватые или серые оттенки. Наличие интенсивной окраски различных оттенков — свидетельство присутствия производственных сточных вод. Для окрашенных сточных вод определяют интенсивность окраски по разведению до бесцветной, например 1:400; 1:250 и т. д.

Запах — органолептический показатель, характеризующий наличие в воде пахнущих летучих веществ. Обычно запах определяют качественно при температуре пробы 20 °С и описывают как фекальный, гнилостный, керосиновый, фенольный и т. д. При неясно выраженном запахе определение повторяют, подогревая пробу до 65 °С. Иногда необходимо знать пороговое число — наименьшее разбавление, при котором запах исчезает.

Концентрация ионов водорода выражается величиной рН. Этот показатель чрезвычайно важен для биохимических процессов, скорость которых может существенно снижаться при резком изменении реакции среды. Установлено, что сточные воды, подаваемые на сооружения биологической очистки, должны иметь значение рН в пределах 6,5–8,5. Производственные сточные воды (кислые или щелочные) должны быть нейтрализованы перед сбросом в водоотводящую сеть, чтобы предотвратить ее разрушение. Городские сточные воды обычно имеют слабощелочную реакцию среды (рН = 7,2–7,8).

Прозрачность характеризует общую загрязненность сточной воды растворенными и коллоидными примесями, не идентифицируя вид загрязнений. Прозрачность городских сточных вод обычно составляет 1–3 см, а после очистки увеличивается до 15–30 см.

Сухой остаток характеризует общую загрязненность сточных вод органическими и минеральными примесями в различных агрегативных состояниях

(в мг/л). Определяется этот показатель после выпаривания и дальнейшего высушивания при $t = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ пробы сточной воды. После прокаливания (при $t = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) определяется зольность сухого остатка. По этим двум показателям можно судить о соотношении органической и минеральной частей загрязнений в сухом остатке.

Плотный остаток — это суммарное количество органических и минеральных веществ в профильтрованной пробе сточных вод (мг/л). Определяется при таких же условиях, что и сухой остаток. После прокаливания плотного остатка при $t = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ можно ориентировочно оценить соотношение органической и минеральной частей растворимых загрязнений сточных вод. При сравнении прокаленных сухого и плотного остатков городских сточных вод определено, что большая часть органических загрязнений находится в нерастворенном состоянии. При этом минеральные примеси в большей степени находятся в растворенном виде.

Взвешенные вещества — показатель, характеризующий количество примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Это один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод. Кроме того, этот показатель используется в качестве расчетного параметра при проектировании первичных отстойников. Количество взвешенных веществ — один из основных нормативов при расчете необходимой степени очистки сточных вод. Потери при прокаливании взвешенных веществ определяются так же, как для сухого и плотного остатков, но выражаются обычно не в мг/л, а в виде процентного отношения минеральной части взвешенных веществ к их общему количеству по сухому веществу. Этот показатель называется *зольностью*. Концентрация взвешенных веществ в городских сточных водах обычно составляет 100–500 мг/л.

Оседающие вещества — часть взвешенных веществ, оседающих на дно отстойного цилиндра за 2 часа отстаивания в покое. Этот показатель характеризует способность взвешенных частиц к оседанию, позволяет оценить максимальный эффект отстаивания и максимально возможный объем осадка, который может быть получен в условиях покоя. В городских сточных водах оседающие вещества в среднем составляют 50–75 % общей концентрации взвешенных веществ.

Под **окисляемостью** понимают общее содержание в воде восстановителей органической и неорганической природы. В городских сточных водах подавляющую часть восстановителей составляют органические вещества, поэтому считается, что величина окисляемости полностью относится к органическим примесям. В зависимости от природы используемого окислителя различают химическую окисляемость, если при определении используют химический окислитель, и биохимическую, когда роль окислительного агента выполняют аэробные бактерии; этот показатель — биохимическая потребность в кислороде (БПК). В свою очередь, химическая окисляемость может быть перманганатной (окислитель KMnO_4), бихроматной (окислитель

$K_2Cr_2O_7$) и йодатной (окислитель KJO_3). Результаты определения окисляемости независимо от вида окислителя выражают в мг/л O_2 . Бихроматную и йодатную окисляемость называют химической потребностью в кислороде, или ХПК.

Перманганатная окисляемость — кислородный эквивалент легкоокисляемых примесей. Это количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием раствора перманганата калия при нагревании в кислой среде. Основная ценность этого показателя — быстрота и простота определения. Перманганатная окисляемость используется с целью получения сравнительных данных. Тем не менее, есть такие вещества, которые не окисляются $KMnO_4$. Только после определения ХПК можно достаточно полно оценить степень загрязненности воды органическими веществами.

БПК — кислородный эквивалент степени загрязненности сточных вод биохимически окисляемыми органическими веществами. БПК определяет количество кислорода, необходимое для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в окислении органических соединений. БПК характеризует биохимически окисляемую часть органических загрязнений сточной воды, находящихся в первую очередь в растворенном и коллоидном состояниях, а также в виде взвеси.

Азот находится в сточных водах в виде органических и неорганических соединений. В городских сточных водах основную часть органических азотистых соединений составляют вещества белковой природы — фекалии, пищевые отходы. Неорганические соединения азота представлены восстановленными — NH_4^+ и NH_3 — и окисленными формами — NO_2^- и NO_3^- . Аммонийный азот в большом количестве образуется при гидролизе мочевины — продукта жизнедеятельности человека. Кроме того, процесс аммонификации белковых соединений также приводит к образованию соединений аммония.

В городских сточных водах до их очистки азот в окисленных формах (в виде нитритов и нитратов), как правило, отсутствует. Нитриты и нитраты восстанавливаются группой денитрифицирующих бактерий до молекулярного азота. Окисленные формы азота могут появиться в сточной воде лишь после биологической очистки.

Источником соединений **фосфора** в сточных водах являются физиологические выделения людей, отходы хозяйственной деятельности человека и некоторые виды производственных сточных вод.

Концентрации азота и фосфора в сточных водах — важнейшие показатели санитарно-химического анализа, имеющие значение для биологической очистки. Азот и фосфор — необходимые компоненты состава бактериальных клеток. Их называют биогенными элементами. При отсутствии азота и фосфора процесс биологической очистки невозможен.

Хлориды и сульфаты — показатели, концентрация которых влияет на общее солесодержание.

В группу тяжелых металлов и других токсичных элементов входит большое число элементов, которое по мере накопления знаний о процессах очистки все более возрастает. К токсичным тяжелым металлам относят железо, никель, медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, хром, ртуть; к прочим токсичным элементам — мышьяк, сурьму, бор, алюминий и т. д.

Источник тяжелых металлов — производственные сточные воды машиностроительных заводов, предприятий электронной, приборостроительной и других отраслей промышленности. В сточных водах тяжелые металлы содержатся в виде ионов и комплексов с неорганическими и органическими веществами.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) — органические соединения, состоящие из гидрофобной и гидрофильной частей, обуславливающих растворение этих веществ в маслах и в воде. Примерно 75 % общего количества производимых СПАВ приходится на долю анионо-активных веществ, второе место по выпуску и использованию занимают неионогенные соединения. В городских сточных водах определяют СПАВ этих двух типов.

Нефтепродукты — неполярные и малополярные соединения, экстрагируемые гексаном. Концентрация нефтепродуктов в водоемах строго нормируется; и поскольку на городских очистных сооружениях степень их задержания не превышает 85 %, в поступающей на станцию сточной воде также ограничивается содержание нефтепродуктов.

Растворенный кислород в поступающих на очистные сооружения сточных водах отсутствует. В аэробных процессах концентрация кислорода должна быть не менее 2 мг/л.

Санитарно-бактериологические показатели включают определение общего числа аэробных сапрофитов (микробное число), бактерий группы кишечной палочки и анализ на яйца гельминтов.

Микробное число оценивает общую обсемененность сточных вод микроорганизмами и косвенно характеризует степень загрязненности воды органическими веществами — источниками питания аэробных сапрофитов. Этот показатель для городских сточных вод колеблется в пределах 10^6 – 10^8 .

Концентрация загрязнений в сточной воде (мг/л или г/м³) рассчитывается по формуле

$$B_{en} = \frac{a \cdot 1000}{q},$$

где B_{en} — концентрация какого-либо из загрязнителей в сточной воде поступающей на очистку;

a — величина загрязнений, г/сут, на одного человека;

q — норма водоотведения, л/чел, в сутки.

Величина загрязнений в сточной воде на одного человека приведена в таблице 1.

Количество загрязняющих веществ на одного жителя

Показатель	Количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/сут
Взвешенные вещества	65
БПК _{полн} неосветленной жидкости	75
БПК _{полн} осветленной жидкости	40
Азот аммонийных солей N	8
Фосфаты P ₂ O ₅	3,3
В том числе моющих веществ	1,6
Хлориды	9
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	25

Примечания:

1. Количество загрязняющих веществ от населения, проживающего в неканализованных районах, надлежит учитывать в размере 33 %.
2. При сбросе бытовых сточных вод промышленных предприятий в канализацию населенного пункта количество загрязняющих веществ от эксплуатационного персонала дополнительно не учитывается [1].

1.4 Определение необходимой степени очистки сточных вод

Технологические расчеты необходимой степени очистки сточных вод базируются на уравнении материального баланса.

Определение необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ. Допустимое содержание взвешенных веществ m в спускаемых в водоем сточных водах определяется по уравнению (в соответствии с санитарными правилами):

$$aQb + qm = (aQ + q)(b + p),$$

откуда

$$m = p \left(\frac{aQ}{q} + 1 \right) + b,$$

где b — содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод, г/м³;

p — допустимое по санитарным правилам увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования), г/м³;

Q, q — расходы соответственно речных и сточных вод, м³/сут.

Необходимую степень очистки по взвешенным веществам Ξ_b (%) определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_B = \frac{100(C - m)}{C},$$

где C — количество взвешенных веществ в сточной воде до очистки, г/м³.

Во избежание отложения взвешенных веществ в водоеме их гидравлическая крупность не должна превышать 0,4 мм/с при выпуске в реку и 0,2 мм/с — в водохранилище. Если в сточной воде концентрация взвешенных веществ не удовлетворяет этому требованию, то перед сбросом в водоем ее необходимо отстаивать для осаждения взвешенных частиц указанной гидравлической крупности.

При сбросе стоков, содержащих токсичные вещества, необходимо произвести оценку качества сбрасываемой воды по предельно допустимой концентрации по формуле:

$$C_{СТ.НР} = (n - 1)(C_{ПР} - C_{Ф}) + C_{НР},$$

где n — коэффициент разбавления,

$$n = \frac{(q + aQ)}{q};$$

$$C_{НР} = ПДК,$$

если в воде присутствует один вид загрязнений.

Определение необходимой степени очистки по БПК_{полн}. При расчете учитывается снижение БПК воды за счет разбавления и биохимических процессов самоочищения сточных вод от органических веществ в летний период.

Баланс биохимической потребности в кислороде смеси речной и сточной вод в расчетной точке (без учета реэрации) выражается уравнением:

$$qL_{СТ} \cdot 10^{-k_{СТ}t} + aQL_P \cdot 10^{-k_Pt} = (q + aQ)L_{ПР.Д},$$

где $L_{СТ}$ — БПК_{полн} сточной жидкости, которая должна быть достигнута в процессе очистки, г/м³;

L_P — БПК_{полн} речной воды до места выпуска сточных вод, г/м³;

$L_{ПР.Д}$ — предельно допустимая БПК_{полн} смеси речной и сточной воды в расчетном створе, г/м³;

$k_{СТ}$ и k_P — константы скорости потребления кислорода сточной и речной водой;

t — продолжительность пробега воды от места выпуска сточных вод до расчетного пункта, сут.

Отсюда

$$L_{СТ} = \left[\frac{aQ}{(q \cdot 10^{-k_{СТ}t})} \right] \cdot (L_{ПР.Д} - L \cdot 10^{-k_Pt}) + \frac{L_{ПР.Д}}{10^{-k_{СТ}t}}.$$

Необходимая степень очистки по БПК Э_б, %, определяется по формуле:

$$\Theta_B = \frac{100(L_a - L_{CT})}{L_a}.$$

Определение необходимой степени очистки по растворенному кислороду в воде водоема. Допустимую максимальную величину БПК спускаемых в водоем сточных вод определяют по требованиям санитарных правил. При этом минимальное содержание растворенного кислорода должно быть 4 или 6 мг/л после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования). Расчеты производятся для величины БПК_{полн}. Кислородный режим в водоемах определяют для летнего и зимнего периодов. В качестве расчетного принимает-ся наиболее неблагоприятный период.

Существует ряд способов определения допустимой нагрузки сточных вод на водоем по содержанию кислорода. Наиболее простой основан на учете поглощения сточными водами только того растворенного кислорода, который подходит с речной водой к месту спуска сточных вод. При этом считают, что если концентрация в речной воде растворенного кислорода не станет ниже 4 мг/л в течение двух суток, то это снижение не произойдет и в дальнейшем. Это условие выражено уравнением:

$$aQO_P - (aQL_P + qL_{CT}) \cdot 0,4 = (aQ + q) \cdot 4,$$

где O_P — содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод, г/м³;

aQ — расчетный расход речной воды в м³/с, участвующий в смешении;

q — расход сточных вод, м³/с;

L и L_{CT} — БПК_{полн} соответственно речной и сточной воды, г/м³;

0,4 — коэффициент для пересчета БПК_{полн} в двухсуточное;

4 — наименьшая концентрация растворенного кислорода, которая должна сохраниться в воде водоема, г/м³.

Таким образом, приведенное выше уравнение составлено из условия, что весь наличный запас растворенного кислорода должен быть израсходован на окисление органического загрязнения речной и сточной воды. В результате концентрация растворенного кислорода в общей смеси должна быть равна или 4, или 6 мг/л. Допустимая концентрация сточных вод при этом условии:

$$L_{CT} = \left(\frac{2,5aQ}{q} \right) \cdot (O_P - 0,4L_P - 4) - 10.$$

Второй способ расчета позволяет учитывать процессы поглощения кислорода сточными водами из речной воды и поверхностную реэрацию. При расчете кислородного баланса по этому способу кроме указанных выше величин учитывают среднюю скорость движения воды в водоеме, температуру воды в реке в расчетный период, константы скорости биохимического поглощения кислорода и скорости поверхностной реэрации. При этом величина L_a является средней и устанавливается по формуле:

$$L_a = \frac{(L_P aQ + L_{CT} q)}{(aQ + q)},$$

где L_a — БПК_{полн} в начальный момент процесса потребления кислорода, мг/л.

Определение необходимой степени очистки по температуре воды водоема. Расчет производится в соответствии с санитарными требованиями, ограничивающими повышение летней температуры воды за счет поступающих в водоем сточных вод по уравнению:

$$T_{CT} = \left(\frac{aQ}{q} + 1 \right) \cdot T_d + T_P,$$

где T_{CT} — температура сточных вод, при которой соблюдается санитарное требование относительно температуры воды в створе пункта водопользования;

T — максимальная температура воды водоема до выпуска сточных вод в летнее время;

T_d — допустимое повышение (не более чем на 3 °C) температуры воды водоема.

Определение необходимой степени разбавления по запаху, окраске и привкусу. В тех случаях, когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах сточных вод исчезают, достаточно сравнения величины разбавления, которое возможно у расчетного створа.

Определение необходимой степени очистки по общесанитарному показателю вредности. При определении необходимой степени очистки сточных вод по санитарно-токсикологическому, общесанитарному и органолептическому показателям вредности пользуются уравнением материального баланса. При этом установлены ПДК на вещества и показатели [1].

Контрольные вопросы

1. Дайте определение сточным водам.
2. Приведите классификацию сточных вод по природе загрязнений.
3. Приведите классификацию примесей сточных вод.
4. Дайте характеристику первичным и вторичным осадкам.
5. Перечислите основные показатели осадков сточных вод.
6. На сколько групп и по какому признаку делятся сточные воды?
7. Опишите сточные воды, относящиеся к категории хозяйственно-бытовых.
8. Приведите основные санитарно-химические показатели сточных вод.
9. Что понимают под окисляемостью?
10. Какие металлы, содержащиеся в сточных водах, являются токсичными?
11. На какие группы, в зависимости от условий формирования и особенностей отделения, подразделяют осадки? Каков состав каждой группы?
12. Приведите основные физико-химические показатели осадков сточных вод.
13. Как определяют необходимую степень очистки сточных вод?
14. На основании чего определяется допустимая нагрузка сточных вод на водоем?

2. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Методы очистки сточных вод можно разделить на:

- механические;
- физико-химические;
- биохимические.

В процессе очистки сточных вод образуются осадки, которые подвергаются:

- обезвреживанию;
- обеззараживанию;
- обезвоживанию;
- сушке.

Если по условиям сброса сточных вод в водоем требуется более высокая степень очистки, то после сооружений полной биологической очистки сточных вод устраивают сооружения глубокой очистки. В соответствии с «Водным кодексом» [4], сточные воды после очистки перед сбросом в водоем подвергают обеззараживанию с целью уничтожения патогенных микроорганизмов.

Сооружения механической очистки сточных вод предназначены для задержания нерастворенных примесей. *К ним относятся:*

- решетки;
- сита;
- песколовки;
- отстойники;
- фильтры различных конструкций.

Решетки и сита предназначены для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения. Песколовки служат для выделения примесей минерального состава, главным образом песка. Отстойники задерживают оседающие и плавающие загрязнения сточных вод.

Сооружения механической очистки сточных вод являются предварительной стадией перед биологической очисткой. При механической очистке городских сточных вод удается задержать до 60 % нерастворенных загрязнений.

Физико-химические методы очистки городских сточных вод с учетом технико-экономических показателей используют весьма редко. Эти методы в основном применяют для очистки производственных сточных вод.

К методам физико-химической очистки производственных сточных вод относятся:

- реагентная очистка;
- сорбция;
- экстракция;
- эвапорация;
- дегазация;

- ионный обмен;
- озонирование;
- электрофлотация;
- хлорирование;
- электродиализ и др.

Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые минерализуют растворенные органические соединения, являющиеся для микроорганизмов источниками питания. Сооружения биологической очистки условно могут быть разделены на два вида. К первому виду относятся сооружения, в которых процесс биологической очистки протекает в условиях, близких к естественным (поля фильтрации и биологические пруды). В сооружениях второго вида аналогичная очистка осуществляется в искусственно созданных условиях — в аэротенках и биофильтрах.

Глубокая очистка сточных вод может потребоваться, если в сточной воде после полной биологической очистки перед сбросом в водоем необходимо снизить концентрацию взвешенных веществ, величину показателей БПК, ХПК и др.

При глубокой очистке сточных вод, главным образом от взвешенных веществ, используются фильтры различных конструкций. Для глубокой очистки от растворенных органических веществ применяют сорбционные, биосорбционные, озонаторные и другие установки. Глубокая очистка сточных вод от соединений азота и фосфора может осуществляться физико-химическими и биологическими методами.

Дезинфекция сточных вод является заключительным этапом их обработки перед сбросом в водоем. Цель дезинфекции — уничтожение патогенных микроорганизмов, содержащихся в сточной воде. Наибольшее распространение получил способ дезинфекции путем введения в воду газообразного хлора. Возможно обеззараживание сточных вод озоном, используются бактерицидные ультрафиолетовые лампы.

Обработка осадков сточных вод, образующихся в процессе очистки, заключается в снижении их влажности и уменьшении объема; в процессе обработки осадки обеззараживаются.

Загрязнения, задерживаемые решетками, вывозят с территорий станций очистки либо дробятся и обрабатываются совместно с осадками из отстойников. Песок из песколовков обезвреживается на песковых площадках и также вывозится или отмывается от органических загрязнений, подсушивается и используется в планировочных работах. Осадок из первичных отстойников и уплотненный осадок из вторичных отстойников (активный ил) направляются в метантенки — герметичные резервуары, в которых под действием анаэробных микроорганизмов минерализуются органические вещества. Вместо метантенков может применяться метод анаэробной стабилизации. Дальнейшее снижение влажности осадков может достигаться в аппаратах механического действия —

на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах. Иловые площадки устраиваются для обезвоживания в естественных условиях сброженного в метантенках осадка [1].

2.1. Разработка и обоснование технологических схем очистки сточных вод

Выбор методов очистки сточных вод и определение состава сооружений представляют собой сложную технико-экономическую задачу и зависят от многих факторов: расхода сточных вод и мощности водоема; расчета необходимой степени очистки; рельефа местности; характера грунтов; энергетических затрат и др.

Расчет необходимой степени очистки показывает какой эффект задержания загрязняющих веществ необходимо достичь на очистных сооружениях. Возможен вариант, что необходимый эффект очистки обеспечивается только сооружениями механической очистки. Такие сооружения могут разрабатываться для поселков городского типа, имеющих водоотводящую систему и расположенных на многоводных реках, при расходе сточных вод не более 10 тыс. м³/сут.

Сооружения биологической очистки обеспечивают снижение показателей загрязнений по взвешенным веществам и по БПК₅ до 15–20 мг/л. В технологических схемах биологической очистки применяются биофильтры при расходах сточных вод 10–20 тыс. м³/сут, аэротенки — при расходах от 50 тыс. до 2–3 млн м³/сут.

Если расчет необходимой степени очистки сточных вод определяет более высокий эффект, чем могут обеспечить сооружения биологической очистки, то возникает необходимость глубокой очистки сточных вод.

Технология обработки осадков, образующихся в процессе очистки, определяется в зависимости от их свойств, объемов, наличия площадей.

2.2. Технологические схемы очистки сточных вод

Если при расчете необходимой степени очистки сточных вод концентрация взвешенных веществ должна быть снижена на 40–50 %, а величина показателя БПК_{полн} — на 20–30 %, то можно ограничиться механической очисткой. Состав сооружений принимается по схеме, приведенной на рис. 1. Расход сточных вод при такой схеме составляет не более 10 тыс. м³/сут.

Сточная вода, поступающая на очистную станцию, проходит через решетки, песколовки, отстойники и обеззараживается при использовании хлора. Отбросы с решеток направляются в дробилку и в виде пульпы сбрасываются в канал перед или за решеткой. Возможен вариант вывоза отбросов на полигон. Осадок из песколовки перекачивается на песковые площадки. Из отстойников осадок направляется в метантенки с целью окисления органических веществ. Для обезвоживания сброженного осадка используются иловые

площадки, дренажная вода с этих площадок перекачивается в канал перед контактным резервуаром (рис. 1).

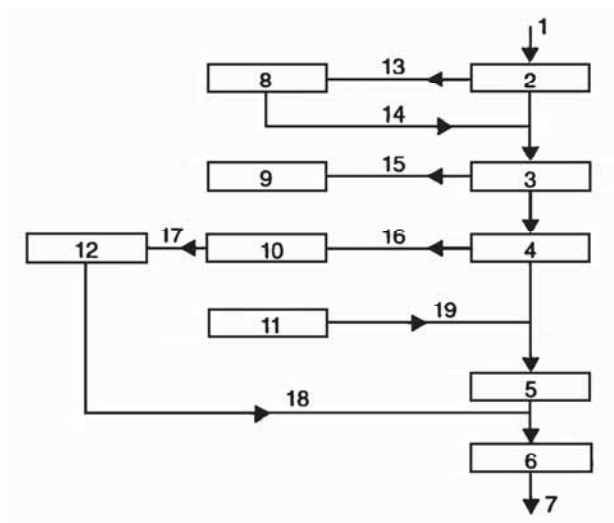


Рис. 1. Технологическая схема очистной станции с механической очисткой сточных вод:

- 1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — отстойники;
 5 — смесители; 6 — контактный резервуар; 7 — выпуск; 8 — дробилки;
 9 — песковые площадки; 10 — метантенки; 11 — хлораторная;
 12 — иловые площадки; 13 — отбросы; 14 — пульпа; 15 — песчаная пульпа;
 16 — сырой осадок; 17 — сброженный осадок;
 18 — дренажная вода; 19 — хлорная вода

При больших расходах сточных вод — от 50 тыс. м³/сут до 2-3 млн м³/сут и более — применяется технологическая схема, приведенная на рис. 2.

Механическая очистка сточных вод производится на решетках, в песколовках и отстойниках. Сырой осадок из первичных отстойников направляется в метантенки. Биологическая очистка сточных вод по этой схеме осуществляется в аэротенке. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов активного ила в аэротенк должен поступать воздух, который подается воздуходувками, установленными в машинном здании. Смесь очищенной сточной воды и активного ила из аэротенка направляется во вторичный отстойник, где осаждаются активный ил и основная его масса возвращаются в аэротенк. Очищенная сточная вода обеззараживается в контактном резервуаре и сбрасывается в водоем. Сброженный осадок из метантенков направляется для механического обезвоживания на вакуум-фильтры или фильтр-прессы. Обезвоженный осадок может подвергаться термической сушке и использоваться в качестве удобрения (рис. 2).

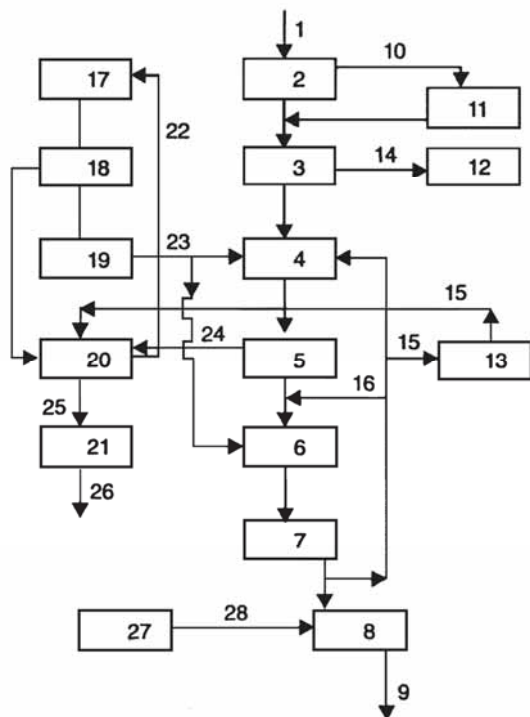


Рис. 2. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках:

- 1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — преаэраторы;
 5 — первичные отстойники; 6 — аэротенки; 7 — вторичные отстойники;
 8 — контактный резервуар; 9 — выпуск; 10 — отбросы; 11 — дробилки;
 12 — песковые площадки; 13 — илоуплотнители; 14 — песок;
 15 — избыточный активный ил; 16 — циркуляционный активный ил;
 17 — газгольдеры; 18 — котельная; 19 — машинное здание;
 20 — метантенки; 21 — цех механического обезвоживания сброженного осадка;
 22 — газ; 23 — сжатый воздух; 24 — сырой осадок;
 25 — сброженный осадок; 26 — на удобрение; 27 — хлораторная установка;
 28 — хлорная вода

На рис. 3 приведена технологическая схема биологической очистки сточных вод на биофильтрах. Такие схемы используются для расходов сточных вод порядка 10–20 тыс. м³/сут. После сооружений механической очистки вода поступает на биофильтры и затем во вторичные отстойники, в которых задерживается биологическая пленка (био пленка), выносимая водой из биофильтров; далее вода направляется в контактный резервуар, дезинфицируется и сбрасывается в водоем.

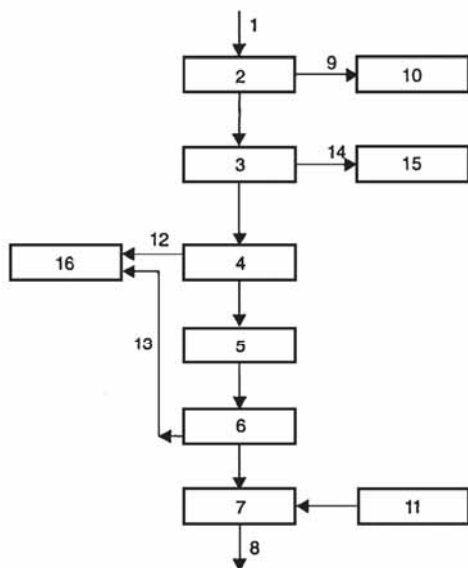


Рис. 3. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах:

1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — первичные отстойники; 5 — биофильтры; 6 — вторичные отстойники; 7 — контактный резервуар; 8 — выпуск; 9 — отбросы; 10 — дробилки; 11 — хлораторная установка; 12 — осадок из первичных отстойников; 13 — биопленка из вторичных отстойников; 14 — песок; 15 — бункер песка; 16 — иловые площадки.

Физико-химическая очистка городских сточных вод применяется для очистки расходов 10–20 тыс. м³/сут. На рис. 4 приведена технологическая схема физико-химической очистки сточных вод.

Вода, прошедшая решетки и песколовки, направляется в смеситель, куда подаются растворы реагентов — минеральных коагулянтов и органических флокулянтов. После камер хлопьеобразования осадки отделяются от очищенной воды в горизонтальными отстойниках. Для глубокой очистки от взвешенных веществ пользуются барабанные сетки и двухслойные фильтры или фильтры с восходящим потоком воды. Обеззараженная хлором вода сбрасывается в водоем. Осадок из отстойников уплотняется и обезвоживается на центрифугах.

Приведенные технологические схемы широко распространены как в отечественной, так и зарубежной практике, при этом имеются станции, работающие по измененным схемам.

Технологические схемы очистки производственных сточных вод могут применяться при использовании самых разнообразных методов очистки, включая физико-химические, биологические и прочие методы. Выбор схемы зависит от специфики загрязняющих сточные воды веществ, их концентрации и ПДК сброса в городскую канализацию [1, 5].

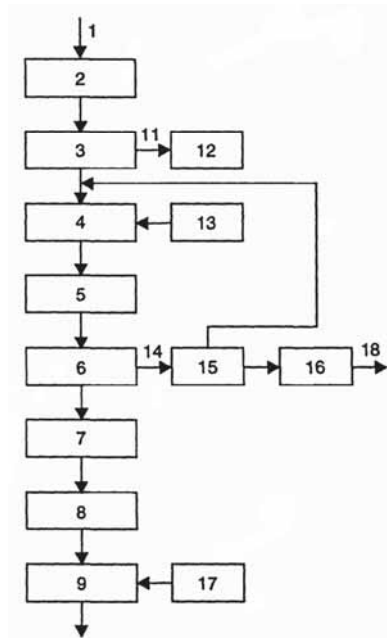


Рис. 4. Технологическая схема очистной станции с физико-химической очисткой сточных вод:

1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — смеситель; 5 — камера хлопьеобразования; 6 — горизонтальные отстойники; 7 — барабанные сетки; 8 — фильтры; 9 — контактный резервуар; 10 — выпуск в водоем; 11 — песок; 12 — бункер песка; 13 — приготовление и дозирование реагентов; 14 — осадок; 15 — осадкоуплотнители; 16 — центрифуги; 17 — хлораторная; 18 — шлам; 19 — отстоенная вода

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные методы очистки сточных вод.
2. Назовите предназначение и перечислите сооружения механической очистки.
3. Перечислите методы физико-химической очистки производственных сточных вод.
4. Назовите виды сооружений биологической очистки.
5. При каком расходе сточных вод применяется схема, представленная на рис. 1?
6. Какая стадия очистки сточных вод является предварительной?
7. К какой группе методов очистки относится ионный обмен, экстракция, электрофлотация и сорбция?
8. В каких случаях требуется глубокая очистка сточных вод?
9. Какой этап является заключительным в очистке вод перед сбросом в водоем?
10. При каком расходе городской сточной воды применяется физико-химическая очистка?
11. Для чего используются иловые площадки?